Optimization of Roasting Condition to Improve Quality of Freeze-Dried Silkworms Using RSM

Kyung-Hee Lee¹, Ae-Jung Kim², Min-Ju Kim^{1*}

¹Department of Alternative Medicine, Kyonggi University, Seoul, Korea

²Department of Nutrition Therapy, The Graduate School of Alternative Medicine, Kyonggi University, Seoul, Korea

*Corresponding author: Min-Ju Kim,
Department of Alternative Medicine,
Kyonggi University, 24, Kyonggidae-ro-9 gil,
Seodaemun-gu, Seoul 03746, Korea
Tel.: +82 2 390 5012
Fax: +82 50 4246 1464
Email: camdr@kgu.ac.kr

Received February 07, 2020

Revised March 13, 2020

Accepted March 20, 2020

Published March 30, 2020

Abstract

Purpose: This study was designed to optimize the conditions used for roasting freeze-dried silkworms for improving the quality using response surface methodology (RSM). **Methods:** Independent variables included temperature (X1; range 140°C–180°C) and time (X2; range 20–40 min) based on findings from preliminary experiments. Dependent variables included total polyphenol content, total flavonoid content, DPPH radical-scavenging activity, ABTS radical-scavenging activity and α-glucosidase inhibition activity. **Results:** We identified the optimal conditions for roasting freeze-dried silkworms that included temperature (X1) and time (X2) of 180°C and 30 min, respectively. With these optimized variables, the total polyphenol content was 468.20 mg TAE/g, total flavonoid content was 294.62 mg QE/g, DPPH radical-scavenging ability was 72.07%, ABTS radical-scavenging activity was 71.81%, and α-glucosidase inhibition was 67.31%. **Conclusion:** Our results suggest that the biochemical properties of freeze-dried silkworms were improved by the roasting process using specific timing and temperature as indicated. We anticipate further interest in the use of roasted freeze-dried silkworms by the food industry and as a means to improve blood glucose levels.

Keywords: Silkworm, Roasting, RSM, Antioxidant activity, α-Glucosidase inhibitory activity

Introduction

최근 소득 수준의 향상과 식생활의 서구화 및 운동부족 등으로 당뇨병, 고혈압, 동맥경화증과 같은 만성질환이 증가되고 있다. 그 가운데 당뇨병의 증가가 뚜렷하여 사회적인 문제로 대두되고 있는 실정이다(Kang *et al.*, 2017).

당뇨병은 완치가 어려운 만성질환으로 환자의 삶의 질을 저하시킬 뿐 아니라 의료비 부담이 높은 질병이다(De Groot *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2016). 그 동안 당뇨병의 치료는 대부분 혈당 강화제와 같은 약물치료에 의존하였으며(Cho & Choi, 2013), 그에 따른 부작용이 많았다. 이에 안전성이 확보된 천연물 소재인 뽕잎, 오디 및 누에 등의 양잠산물을 이용한 혈당개선 연구들이 활발히 진행되어 왔다(Jang & Rhee, 2004).

특히, 누에는 혈당 강화작용(Cho *et al.*, 1998) 뿐만 아니라 간 기능 개선, 혈액순환, 항산화 작용 등의 다양한 효능

이 보고되었다(Cha *et al.*, 2010). 누에에 다량 함유되어 있는 1-deoxynojirimycin (DNJ) 성분은 소장내 당분해효소인 α-glucosidase의 작용을 저해하여 식후 급격한 혈당 상승을 억제하여 인슐린 분비를 감소시키는 효과가 있다(Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2018). 그러나 누에는 비릿한 맛(異味)과 역한 냄새(異臭)와 같은 결점과 외관상의 혐오증(food neophobia)으로 인해 영양학적 가치와 활용적 가치를 가지고 있음에도 불구하고, 제품화 되기에는 많은 어려움이 따르고 있다(Hwang *et al.*, 2015; Yi & Kim, 2018).

누에를 식품소재로 활용한 연구로는 누에 분말을 이용한 젤리의 이화학적 특성 및 관능 평가(Kim *et al.*, 2006), 대사증후군 개선을 위한 뽕잎, 오디, 누에 분말의 혼합 비율 최적화(Kim *et al.*, 2018), 누에 동충하초 분말 첨가량에 따른 설기떡의 품질 특성(Shin *et al.*, 2008), 누에 열수 추출물을 첨가한 식빵의 품질특성(Kwon & Kim, 2016) 등이 있으나 뽕잎과 오디와 같은 다른 양잠

소재에 비해 매우 제한적이었다.

로스팅(roasting) 처리는 식품의 화학적 성분 조정, 물리적 성질, 색, 향기 및 조직감 등과 같은 다양한 품질에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Park *et al.*, 1999; Chung *et al.*, 2006). 이러한 열처리 가공 기술은 식품의 저장 수명을 연장하고 생리활성 물질의 함량을 향상시키기 위한 목적으로 이용되어 왔다(Hwang *et al.*, 2011).

이에 본 연구에서는 로스팅 처리 방법을 선택하여 동결건조 누에의 생리활성물질을 보존하면서 누에의 부정적인 맛과 향을 동시에 개선할 수 있는 로스팅 조건을 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 이용하여 도출하고자 하였다.

Methods

1. 실험재료

본 실험에 사용된 시료는 5령 3일 된 누에를 동결건조한 것으로 2019년 5월 전북 부안 유유마을(부안오디누에)에서 구매 후 사용하였다.

2. 실험설계

동결건조 누에의 최적 로스팅 온도와 시간을 도출하기 위한 실험 설계는 Design Expert 10 (Stat-Ease Inc., USA) 프로그램을 사용하였으며, 반응표면분석법(RSM)의 중심합성계획법에 따라 12개의 실험점을 설정하였다.

독립변수는 온도(X1), 시간(X2)으로 설정하였고, 예비실험을 거쳐 각 요인의 최소 및 최대 로스팅 온도 140–180℃, 시간 20–40 min으로 설정하였다.

종속변수는 total polyphenol 함량, total flavonoid 함량, DPPH radical 소거능, ABTS radical 소거능, α -glucosidase 저해 활성으로 설정하였다. 실험설계에 따른 실험점은 Table 1에 제시된 바와 같다.

3. 실험방법

1) 동결건조 누에 로스팅

로스팅 조건을 표준화하기 위해 동결건조 누에는 20 g씩 계량한 후 열풍식 로스터기(CBR-101; Gene Cafe Co. Ltd., Korea)를 이용하여 조건별로 로스팅을 하였다.

2) 열수 추출물 제조

분석에 사용한 열수추출물 제조는 각 조건별로 로스팅 한 누에를 분쇄기를 이용하여 60 s 동안 분쇄를 실시하였다. 제조된 분말은 40 mesh 체를 통과한 것을 사용하였으며 중량 대비 20배의 증류수를 첨가하여 환류 냉각관을 부착한 80℃의 heating mantle (HM 250C; Sercrim Lab Tech, Korea)에서 2 h 동안 추출시킨 후 3회 여과(No. 2; Whatman, England)하여 누에 열수 추출액을 얻었다. 열수 추출액은 원심분리기(Combi 514R; Hanil Science Medical Co. Ltd., Korea)에서 15 min 동안 원심분리(3,500 rpm)하여 얻은 상등액을 분석에 사용하였다.

3) 항산화 활성 측정

RSM에 의해 설계된 12개의 로스팅 누에 열수 추출물의 total polyphenol 함량은 Folin-Denis의 방법을 변형하여 측정하였다(Singleton & Rossi, 1965). 추출물 350 μ L에 50% Folin-Ciocalteu 시약 70 μ L를 가하여 3 min간 정치한 다음 2% (w/v) Na_2CO_3 용액 350 μ L를 첨가하여 60 min 반응시킨 후 750 nm에

Table 1. Independent variables and actual values used for optimization

Sample No.	Coded values		Actual values	
	Temperature (X1)	Time (X2)	Temperature (X1)	Time (X2)
1	0	0	160	30
2	1	0	180	30
3	0	-1	160	20
4	1	-1	180	20
5	-1	0	140	30
6	1	1	180	40
7	-1	-1	140	20
8	0	1	160	40
9	-1	1	140	40
10	0	0	160	30
11	0	0	160	30
12	0	0	160	30

서 흡광도를 측정하였다. Total polyphenol 함량은 tannic acid를 이용하여 작성한 표준 곡선으로부터 구하였고, mg TAE (tannic acid equivalent)/g으로 나타냈다.

Total flavonoid 함량은 Davis (1947)의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물 70 μ L에 diethylene glycol 700 μ L를 첨가하고 다시 1 N NaOH 용액 7 μ L를 첨가한 후 37℃의 dry oven에서 1 h 반응시킨 후 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. Total flavonoid 함량은 quercetin을 이용하여 작성한 표준 곡선으로부터 구하였고, mg QE (quercetin acid equivalent)/g으로 나타냈다.

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH; Sigma-Aldrich, USA) radical 소거능은 Blois (1958)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 100 μ L에 1.5×10^{-4} M DPPH 용액 100 μ L를 가하여 실온의 암실에서 30 min 정치한 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다.

2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid (ABTS; Sigma-Aldrich) radical 소거능은 Fellegrini *et al.* (1999)의 방법으로 측정하였다. ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 같은 비율로 섞어 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 732 nm에서 흡광도 값이 0.70 ± 0.03 이 되도록 $1 \times$ PBS로 희석하였고, 희석된 ABTS 용액 190 μ L에 추출물 시료 10 μ L를 가하여 60 min 정치한 후 732 nm에서 흡광도를 측정하였다.

4) α -glucosidase 저해 활성 측정

RSM에 의해 설계된 12개의 로스팅 누에 열수 추출물의 α -glucosidase 억제 효능은 Li *et al.* (2005)의 방법을 변형하여 측정하였다. 각각의 well에 시료 40 μ L와 100 mM phosphate buffer (pH 6.8) 100 μ L를 넣은 후 10 mM phosphate buffer (pH 6.8)에 녹인 0.2 unit/mL의 α -glucosidase 20 μ L를 넣고 37℃에서 5 min 동안 preincubation을 시켰다. 기질로 사용된 2,5 mM p-nitrophenyl α -D-glucopyranoside (pNPG)는 100 mM phosphate buffer (pH 6.8)에 녹여 40 μ L를 넣은 후 37℃에서 20 min 동안 incubation 시킨 후 microplate reader (Tecan Infinite M200 Pro; GreenMate Biotech Corp., Korea)를 이용하여 405 nm에서 흡광도를 측정하여 저해율을 산출하였다.

5) 통계처리

실험 자료의 분석과 최적화는 Design Expert 10 (Stat-Ease Inc., USA)을 이용하였으며, 이외 모든 자료는 SPSS statistics 24 (SPSS Institute, USA)를 이용하여 평균과 표준편차를 구하였다. 각 요인에 대한 분산분석을 실시한 다음 Student's *t*-test 및 Duncan's multiple range test를 이용하여 사후검정을 실시하였다.

Figure 1. Perturbation and response surface plot on total polyphenol content of DW extracts of freeze-dried silkworm. TAE, tannic acid equivalent; DW, distilled water.

Results and Discussion

1. 온도와 시간에 따른 로스팅 누에 열수 추출물의 생리활성 및 회귀 분석

1) Total polyphenol 함량

식물에서 항산화 물질로 잘 알려진 폴리페놀은 체내의 활성산소를 자유 라디칼로 안정시켜 산화 스트레스로 인한 손상을 예방하는 효과가 있다(Yoo *et al.*, 2002; Jung *et al.*, 2019).

본 연구에서는 RSM에 의해 설계된 12개의 로스팅 누에 열수 추출물의 total polyphenol 함량을 측정하여 Table 2에 제시하였고, 유의성 검증을 한 결과와 회귀 분석을 통해 얻은 결과들을 Table 3과 Figure 1에 제시하였다.

시료들의 total polyphenol 함량 측정 결과는 469.52–450.12 mg TAE/g 범위의 값을 보였으며, 6번 시료(180℃, 40 min)가 464.89 mg TAE/g으로 가장 높았고, 5번 시료(140℃, 30 min)가 450.12 mg TAE/g으로 가장 낮게 나타났다.

Total polyphenol 함량은 독립변수가 각각 작용하여 선형효과만 있는 linear model이 선정되었고, R^2 값은 0.7376으로 모델에 대한 높은 신뢰도를 보였으며, p 값은 0.0024로 유의하였고 모델의 적합성이 인정되었다. Figure 1에 제시된 perturbation plot에 따르면 온도(A)가

높고 시간(B)이 증가할수록 total polyphenol 함량이 높아져 RSM에 의해 설계된 12개의 로스팅 누에 열수 추출물의 total polyphenol 함량은 대체로 로스팅 시간이 길어질수록 증가하는 경향이 나타났다.

2) Total flavonoid 함량

Flavonoid는 활성산소종을 효과적으로 제거하여 항산화능이 높다고 알려져 있으며, 폴리페놀과 마찬가지로 항바이러스, 항염증, 항암 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Heim *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2012).

본 연구에서는 RSM에 의해 설계된 12개의 로스팅 누에 열수 추출물의 total flavonoid 함량을 측정하여 Table 2에 제시하였고, 유의성 검증을 한 결과와 회귀 분석을 통해 얻은 결과들을 Table 3과 Figure 2에 제시하였다.

시료들의 total flavonoid 함량 측정 결과는 292.76~214.38 mg QE/g 범위의 값을 보였으며, 4번 시료(180℃, 20 min)가 292.76 mg QE/g으로 가장 높았고 9번 시료(140℃, 40 min)가 214.38

mg QE/g으로 가장 낮게 나타났다.

Total flavonoid 함량은 독립변수 간에 선형효과와 교호작용이 있는 2FI (two factor interaction) model이 선정되었고, R^2 값은 0.9730으로 모델에 대한 높은 신뢰도를 보였으며, $p < 0.0001$ 로 유의하였고 모델의 적합성이 인정되었다. Figure 2에 제시된 perturbation plot에 따르면 온도(A)가 높을수록 total flavonoid 함량이 높아졌고, 시간(B)은 증가할수록 함량이 낮아졌다.

3) DPPH radical 소거능

유리 라디칼은 인체 내에서 지질 또는 단백질 등과 결합하여 산화를 일으키기 쉽다. DPPH radical 소거능은 DPPH가 짙은 자색의 안정한 자유 라디칼로 항산화 물질에 의해 환원되면서 짙은 자색이 탈색되는 원리를 이용하여 측정하였다(Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2018).

본 연구에서는 RSM에 의해 설계된 12개의 로스팅 누에 열수 추출물의 DPPH radical 소거능을 측정하여 Table 2에 제시하였고,

Table 2. Antioxidant activities and α -glucosidase inhibitory activity of temperature, time by response surface design

Sample No.	Total polyphenol content (mg TAE/g)	Total flavonoid content (mg QE/g)	DPPH radical scavenging activity (%)	ABTS radical scavenging activity (%)	α -glucosidase inhibitory activity (%)
1	463.03	246.34	70.06	72.82	57.72
2	464.70	278.00	69.47	72.27	57.16
3	450.05	270.12	70.28	70.44	58.40
4	463.24	292.76	68.22	70.42	59.25
5	450.12	228.26	66.14	75.43	60.24
6	469.52	254.42	70.59	74.32	53.88
7	451.86	225.67	67.22	73.17	60.15
8	464.10	230.38	68.96	73.37	55.98
9	461.40	214.38	67.98	73.79	58.86
10	464.12	245.48	70.92	72.12	57.61
11	464.49	246.99	69.57	72.47	57.95
12	464.89	247.74	71.04	73.11	57.75

TAE, tannic acid equivalent; QE, quercetin acid equivalent; DPPH, 2,2,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl; ABTS, 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acidpicrylhydrazyl.

Table 3. Analysis of predicted model equation for Antioxidant activities and α -glucosidase inhibitory activity of temperature, time

Response	Model	Mean $\pm$ SD	R^2 ¹⁾	F-value	p-value	Polynomial equation ²⁾
Total polyphenol content	Linear	460.96 $\pm$ 3.68	0.7376	12.65	0.0024	460.96+5.68A+4.98B
Total flavonoid content	2FI	248.38 $\pm$ 4.42	0.9730	95.96	<0.0001	248.38+26.14A-14.90B-6.76AB
DPPH radical scavenging activity	Quadratic	69.20 $\pm$ 0.92	0.7066	10.84	0.0040	70.14+1.16A-1.87A2
ABTS radical scavenging activity	Quadratic	72.81 $\pm$ 0.60	0.9069	11.69	0.0047	72.66-0.90A+1.24B+0.82AB+1.12A2-0.83B2
α -glucosidase inhibitory activity	Quadratic	57.91 $\pm$ 0.24	0.9897	115.87	<0.0001	57.77-1.49A-1.51B-1.02AB+0.89A2-0.62B2

¹⁾ $0 \leq R^2 \leq 1$, close to indicates regression line fit the model.

²⁾ Coded equation (the levels of the factor are coded as +1~-1); A, temperature; B, time.

Figure 2. Perturbation and response surface plot on total flavonoid content of DW extracts of freeze-dried silkworm. QE, quercetin acid equivalent; DW, distilled water.

유의성 검증을 한 결과와 회귀 분석을 통해 얻은 결과들을 Table 3과 Figure 3에 제시하였다.

시료들의 DPPH radical 소거능을 측정한 결과는 71.04–66.14% 범위의 값을 보였으며, 12번 시료(160℃, 30 min)가 71.04%로 가장 높았고 5번 시료(140℃, 30 min)가 66.14%로 가장 낮게 나타났다.

DPPH radical 소거능은 독립변수 간에 선형효과와 곡선효과가 나타나는 quadratic model이 선정되었고, R^2 값은 0.7066으로 모델에 대한 높은 신뢰도를 보였으며, p 값은 0.0040으로 유의하였고, 모델의 적합성이 인정되었다. Figure 3에 제시된 perturbation plot에 따르면 온도(A)가 올라갈수록 DPPH radical 소거능이 높아 지다가 중심점을 지나면서 서서히 낮아지는 경향을 보였으며 시간(B)은 영향을 미치지 않았다.

4) ABTS radical 소거능

ABTS radical 소거능은 potassium persulfate와의 반응으로 인해 생성된 ABTS 유리 라디칼이 추출물 내의 항산화 물질에 의해 제거되어 라디칼 특유의 색인 청록색이 탈색되는 것을 이용하여 측정할 수 있다(Lee & Ryu, 2019).

본 연구에서는 RSM에 의해 설계된 12개의 로스팅 누에 열수 추

Figure 3. Perturbation and response surface plot on DPPH radical scavenging activity of DW extracts of freeze-dried silkworm. DW, distilled water; DPPH, 2,2,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl.

출물의 ABTS radical 소거능을 측정하여 Table 2에 제시하였고, 유의성 검증을 한 결과와 회귀 분석을 통해 얻은 결과들을 Table 3과 Figure 4에 제시하였다.

누에 열수 추출물의 ABTS radical 소거능을 측정한 결과 75.43–70.42% 범위의 값을 보였으며, 5번 시료(140℃, 30 min)가 75.43%로 가장 높았고 4번 시료(180℃, 20 min)가 70.42%로 가장 낮게 나타났다. ABTS radical 소거능은 DPPH radical 소거능과 마찬가지로 인위적인 라디칼을 제거하는 작용이 있으며, DPPH radical 소거능과 유의적인 상관성을 보이는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2014).

5) α -glucosidase 저해 활성

α -glucosidases는 소장 내에서 탄수화물로부터 α -glucose를 방출하는 α -glucosidic bond의 분해를 촉진하여 포도당을 흡수하는데 관여하는 생체 내 필수 효소이다(Kim *et al.*, 2015).

본 연구에서는 RSM에 의해 설계된 12개의 로스팅 누에 열수 추출물의 α -glucosidase 저해 활성을 분석하여 Table 2에 제시하였고, 유의성 검증을 한 결과와 회귀 분석을 통해 얻은 결과들을 Table 3과 Figure 5에 제시하였다.

시료들의 α -glucosidase 저해 활성을 측정한 결과는 60.24–

Figure 4. Perturbation and response surface plot on ABTS radical scavenging activity of DW extracts of freeze-dried silkworm.

DW, distilled water; ABTS, 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acidpicrylhydrazyl.

53.88% 범위의 값을 보였으며, 5번 시료(140℃, 30 min)가 60.24%로 가장 높았고 6번 시료(180℃, 40 min)가 53.88%로 가장 낮게 나타났다.

α -glucosidase 저해 활성은 독립변수 간에 선형효과와 곡선효과가 나타나는 quadratic model이 선정되었고, R^2 값은 0.9897로 모델에 대한 높은 신뢰도를 보였으며, $p < 0.0001$ 로 유의하였고 모델의 적합성이 인정되었다. Figure 5에 제시된 perturbation plot에 따르면 온도(A)가 높고 시간(B)이 증가할수록 α -glucosidase 저해 활성은 낮아졌다.

2. 온도와 시간에 따른 동결건조 누에의 로스팅 조건 최적화

본 연구는 RSM을 이용하여 누에의 최적 로스팅 조건을 구하고자 항산화 지표로 total polyphenol 함량, total flavonoid 함량, DPPH radical 소거능, ABTS radical 소거능, 항당뇨 지표로 α -glucosidase 저해 활성을 활용하였다. 로스팅 누에의 범위를 온도 140–180℃, 시간 20–40 min으로 설정하여 항산화 활성이 최대 발현되는 최적 로스팅 조건을 예측하고자 하였으며, 최고의 desirability를 나타낸 최적점을 선택하여 최적 로스팅 조건을 산출

Figure 5. Perturbation and response surface plot on α -glucosidase inhibitory activity of DW extracts of freeze-dried silkworm.

DW, distilled water.

하였다(Figure 6). 로스팅 누에의 항산화 활성과 항당뇨 활성이 최대 발현되는 최적 로스팅 조건은 180℃, 30 min이었다. 이때의 total polyphenol 함량은 466.61 mg TAE/g, total flavonoid 함량은 274.64 mg QE/g, DPPH radical 소거능은 69.43%, ABTS radical 소거능은 72.94%, α -glucosidase 저해 활성은 57.19%로 예측되었다.

Conclusion

본 연구의 목적은 반응표면분석법(RSM)을 이용하여 동결건조 누에의 품질개선을 위해 로스팅 최적 조건을 도출하는 것이다. 독립변수로는 온도(X1)와 시간(X2)으로 설정하였는데, 예비실험을 거쳐 온도와 시간의 최소 및 최대 범위는 각각 140–180℃ (온도)와 20–40 min (시간)으로 설정하였다. 품질 개선효과를 알아보고자 종속변수로는 total polyphenol 함량, total flavonoid 함량, DPPH radical 소거능, ABTS radical 소거능 및 α -glucosidase 저해 활성으로 설정하였다.

본 연구결과, 동결건조 누에의 항산화 활성과 항당뇨 활성

Figure 6. Overlay plot of optimized of temperature (A) and time (B) on antioxidant and antidiabetic activities.

DW, distilled water; DPPH, 2,2,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl; ABTS, 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acidpicrylhydrazyl.

(α -glucosidase 저해 활성)이 최대로 발현되는 최적점(로스팅 조건)은 온도(X1)는 180℃였고, 시간(X2)은 30 min이었다. 이 최적점의 total polyphenol 함량은 466.61 mg TAE/g, total flavonoid 함량은 274.64 mg QE/g, DPPH radical 소거능은 69.43%, ABTS radical 소거능은 72.94%, α -glucosidase 저해 활성은 57.19%로 예측되었다.

누에는 혈당 강하작용과 항산화 작용 등의 뛰어난 효능을 가지고 있지만 비릿한 맛과 역한 냄새로 인하여 누에 그대로의 섭취가 쉽지 않은 결점이 있는 소재였다. 이 단점을 로스팅 처리하여 보완하기 위한 첫 번째 시도가 본 연구의 의의라 할 수 있겠다. 차후 본 연구 결과가 식품산업계에서 혈당 개선용 제품의 소재로 다양하게 활용되길 기대해 본다.

Author's contribution

KHL as the first author, collected freeze-dried silkworm samples focusing on the study design of the messenger, and carried out all the experiments in the paper herself. The second author, AJK, was responsible for reviewing the experimental design in detail and correcting the errors directly. MJK, a messenger, personally conducted and accepted the research and design supervision of this paper. All authors read and approved the final manuscript.

Author details

Kyung-Hee Lee (Graduate student), Department of Alternative Medicine, Kyonggi University, 24, Kyonggidaero-9 gil, Seodaemun-gu, Seoul 03746, Korea; Ae-Jung Kim (Professor), Department of Nutrition

Therapy, The Graduate School of Alternative Medicine, Kyonggi University, 63, Kyonggidaero-9 gil, Seodaemun-gu, Seoul 03752, Korea; Min-Ju Kim (Visiting Professor), Department of Alternative Medicine, Kyonggi University, 24, Kyonggidaero-9 gil, Seodaemun-gu, Seoul 03746, Korea.

References

- Blois MS. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*, 181: 1199-1200, 1958.
- Capuano E, Fogliano V. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): a review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 793-810, 2011.
- Cha JY, Kim YS, Kang PD, Ahn HY, Eom KE, Cho YS. Biological activity and chemical characteristics of fermented silkworm powder by mold. *Journal of Life Science*, 20: 237-244, 2010.
- Cho EK, Choi YJ. Antioxidant, antidiabetic, and anti-inflammatory effects of extracts and fractions from *Parthenocissus tricuspidata* stems. *Journal of Life Science*, 23: 399-405, 2013.
- Cho MR, Choue RW, Chung SH, Ryu JW. Effects of silkworm powder on blood glucose and lipid levels in NIDDM (Type II) patients. *Journal of Nutrition and Health*, 31: 1139-1150, 1998.
- Chung HS, Kim JK, Youn KS. Effects of roasting temperature on phytochemical properties of job's tears (*Coix lachryma jobi* L. var ma-yeun) powder and extracts. *Korean Journal of Food Preservation*, 13: 477-482, 2006.
- Davis WB. Determination of flavanones in *Citrus* fruits. *Analytical Chemistry*, 19: 476-478, 1947.
- De Groot M, Anderson R, Freedland KE, Clouse RE, Lustman PJ. Association of depression and diabetes complications: a meta-analysis. *Psychosomatic Medicine*, 63: 619-630, 2001.
- Fellegrini N, Ke R, Yang M, Rice-Evans C. Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2'-azinobis(3-ethylenebenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical cation decolorization assay. *Methods in Enzymology*, 299: 379-

- 389, 1999.
- Hwang IG, Woo KS, Jeong HS. Biological activity and heat treatment processing of foods. *Food Science and Industry*, 44: 56-65, 2011.
- Hwang SY, Bae GK, Choi SK. Preferences and purchase intention of *Tenebrio molitor* (mealworm) according to cooking method. *Korean Journal of Culinary Research*, 21: 100-115, 2015.
- Jang MJ, Rhee SJ. Hypoglycemic effects of pills made of mulberry leaves and silkworm powder in streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 33: 1611-1617, 2004.
- Jung YH, Han JS, Kim AJ. Quality evaluation and antioxidant activity of inner beauty tea prepared from roasted lotus root and burdock. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, 17: 235-245, 2019.
- Kang H, Kim SC, Kang YS, Kwon YI. Mode of action of water soluble β -glucan from oat (*Avena sativa*) on calorie restriction effect in-vitro and in-vivo animal models. *The Korean Journal of Food and Nutrition*, 30: 1222-1228, 2017.
- Kim AJ, Yuh CS, Bang IS, Park SH. The physicochemical properties and sensory evaluation of jelly with silkworm powder. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*, 16: 308-314, 2006.
- Kim EJ, Choi JY, Yu MR, Kim MY, Lee SH, Lee BH. Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 44: 337-342, 2012.
- Kim HY, Lim SH, Park YH, Ham HJ, Lee KJ, Park DS, Kim KH, Kim S. Screening of α -amylase, α -glucosidase and lipase inhibitory activity with Gangwon-do wild plants extracts. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 40: 308-315, 2011.
- Kim MJ, Im KR, Yoon KS. Effect of medicinal herb prepared through traditional antidiabetic prescription on α -glucosidase activity and evaluation method for anti-melanogenesis agents using α -glucosidase activity. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 44: 993-999, 2015.
- Kim MJ, Kim HS, Kim AJ. Optimization of mixing ratio of mulberry leaf, mulberry fruit, and silkworm for amelioration of metabolic syndrome. *Journal of Society of Korean Medicine for Obesity Research*, 18: 83-95, 2018.
- Kim SA, Shin YW, Lee IA. Effects of *Cudrania tricuspidata* leaf extract on gluten sensitivity. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 47: 512-518, 2018.
- Kwon YJ, Kim HJ. Quality characteristics of white pan bread containing heat treated silkworm steam extract. *Food Service Industry Journal*, 12: 87-97, 2016.
- Lee YH, Yoon SJ, Kim A, Seo H, Ko S. Health performance and challenges in Korea: a review of the global burden of disease study 2013. *Journal of Korean Medical Science*, 31: S114-S120, 2016.
- Lee YM, Bae JH, Jung HY, Kim JH, Park DS. Antioxidant activity in water and methanol extracts from Korean edible wild plants. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 40: 29-36, 2011.
- Lee YS, Ryu MJ. Antioxidant Effects of *Cinnamomum cassia* bark extract and its effectiveness as a cosmetics ingredient. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, 17: 69-80, 2019.
- Li T, Zhang X, Song Y, Liu J. A microplate-based screening method for α -glucosidase inhibitors. *Chinese Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 10: 1129-1131, 2005.
- Park CH, Kim KH, Yook HS. Comparison of antioxidant and antimicrobial activities in *Siraegi* (dried radish greens) according to cooking process. *The Korean Journal of Food and Nutrition*, 27: 609-618, 2014.
- Park JH, Han JS, Choi HK. Effect on quality of pan-fired green tea by 1st pan-firing time. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 7: 101-106, 1999.
- Shin SM, Kim AJ, Cho HC, Joung KH. Quality characteristics of Seolgideok prepared with added *Paecilomyces japonica* powder. *The Korean Journal of Food and Nutrition*, 21: 22-27, 2008.
- Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158, 1965.
- Yi HR, Kim YM. A study on the risk perception and purchase intention of edible insects according to dietary life style. *Culinary Science & Hospitality Research*, 24: 147-156, 2018.

Yoo SK, Kim MJ, Kim JW, Rhee SJ. Effects of YK-209 mulberry leaves on disaccharidase activities of small intestine¹ and blood glucose-lowering in streptozotocin

induced diabetic rats. *Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition*, 31: 1071-1077, 2002.

국문초록

RSM을 이용한 동결건조 누에의 품질개선을 위한 로스팅 조건 최적화

이경희¹, 김애정², 김민주^{1*}¹경기대학교 대체의학과, 서울, 한국²경기대학교 대체의학대학원 식품치료전공, 서울, 한국

목적: 본 연구는 반응표면분석법(RSM)을 이용하여 당노 개선을 위한 동결건조 누에의 로스팅 최적 조건을 도출하였다. **방법:** 독립 변수는 온도(X1), 시간(X2)으로 설정하였고, 예비실험을 거쳐 각 요인의 최소 및 최대 범위를 온도 140–180°C, 시간 20–40 min으로 설정하였다. 종속변수는 total polyphenol 함량, total flavonoid 함량, DPPH radical 소거능, ABTS radical 소거능, α -glucosidase 저해 활성으로 설정하여 측정하였다. **결과:** RSM을 통해 얻은 항산화 활성과 항당노 활성이 최대로 발현되는 동결건조 누에 열수 추출물의 최적 로스팅 조건은 180°C, 30 min이었다. 이때의 total polyphenol 함량은 466.61 mg TAE/g, total flavonoid 함량은 274.64 mg QE/g, DPPH radical 소거능은 69.43%, ABTS radical 소거능은 72.94%, α -glucosidase 저해 활성은 57.19%로 예측되었다. **결론:** 누에는 혈당 강하작용과 항산화 작용 등의 뛰어난 효능을 가지고 있지만 비릿한 맛과 역한 냄새로 인하여 누에 그대로의 섭취가 쉽지 않은 결점이 있는 소재였다. 이 단점을 로스팅 처리하여 보완하기 위한 첫 번째 시도가 본 연구의 의의라 할 수 있겠다. 차후 본 연구 결과가 식품산업계에서 혈당 개선용 제품의 소재로 다양하게 활용되길 기대해 본다.

핵심어: 누에, 로스팅, 반응표면분석법, 항산화 활성, 항당노능

참고문헌

- 강한나, 권영인, 김세찬, 강용수. *In-Vitro, In-Vivo* 동물모델에서 귀리 유래 수용성 베타-글루칸의 칼로리 제한 효과 작용기전 규명. *한국식품영양학회지*, 30: 1222–1228, 2017.
- 권용진, 김형준. 누에 열수추출물을 첨가한 식빵의 품질특성. *한국외식산업학회지*, 12: 87–97, 2016.
- 김미진, 임경란, 윤경섭. 당노 처방에 근거한 생약재의 α -Glucosidase 활성 저해 효과 및 이를 활용한 미백 소재 평가법. *한국식품영양과학회지*, 44: 993–999, 2015.
- 김민주, 김현숙, 김애정. 대사증후군 개선을 위한 뽕잎, 오디, 누에 분말의 혼합 비율 최적화. *한방비만학회지*, 18: 83–95, 2018.
- 김신애, 신용옥, 이인아. 글루텐 감수성에 대한 꾸지뽕잎 추출물의 효과. *한국식품영양과학회지*, 47: 512–518, 2018.
- 김애정, 여정숙, 방인수, 박상현. 누에 분말을 이용한 젤리의 이화학적 특성 및 관능 평가. *동아시아식생활학회지*, 16: 308–314, 2006.
- 김은진, 최주연, 유미리, 김미영, 이상현, 이복희. 자생식물과 생약자원 추출물의 폴리페놀, 플라보노이드 함량 및 항산화 활성 탐색. *한국식품과학회지*, 44: 337–342, 2012.
- 김희연, 임상현, 박유화, 함현주, 이광재, 박동식, 김경희, 김성문. 강원도 자생 산채 추출물의 α -Amylase, α -Glucosidase, Lipase 효소 저해활성 탐색. *한국식품영양과학회지*, 40: 308–315, 2011.
- 박장현, 한재석, 최형국. 닭고기 제조과정 중 첫 닭고기시간이 품질에 미치는 영향. *한국약용작물학회지*, 7: 101–106, 1999.
- 신승미, 김애정, 조한철, 정경희. 누에 동충하초 분말 첨가량에 따른 설기떡의 품질 특성. *한국식품영양학회지*, 21: 22–27, 2008.
- 유수경, 김미지, 김진원, 이순재. YK-209 뽕잎이 Streptozotocin 유발 당뇨쥐 소장의 이당류분해 효소 활성과 혈당강하에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*, 31: 1071–1077, 2002.

- 윤용재, 양성용, 이현순, 홍충의, 이광원. 고기능성 들깨잎을 이용한 침출차의 품질 극대화를 위한 최적 볶음조건 연구. *한국식품과학회지*, 44: 34-40, 2012.
- 이영민, 배지현, 정호영, 김재현, 박동식. 국내산 산채류의 물 및 메탄올 추출물에 대한 항산화 활성. *한국식품영양과학회지*, 40: 29-36, 2011.
- 이영숙, 유민정. 계피 추출물의 항산화 효과 및 화장품소재의 응용. *아시아뷰티화장품학술지*, 17: 69-80, 2019.
- 이혜련, 김윤민. 식생활라이프스타일이 식용곤충의 위험지각 및 구매의도에 미치는 영향에 관한 연구. *한국조리학회지*, 24: 147-156, 2018.
- 장미진, 이순재. 뽕잎과 누에가루 혼합환의 Streptozotocin 유발 당뇨쥐에서의 혈당강하 효과. *한국식품영양과학회지*, 33: 1611-1617, 2004.
- 정연희, 한정순, 김애정. 로스팅한 연근과 우영을 이용한 이너 뷰티 차의 항산화 활성과 품질 평가. *아시아뷰티화장품학술지*, 17: 235-245, 2019.
- 정현식, 김종국, 윤광섭. 볶음온도에 따른 울무 분말과 침출액의 이화학적 특성. *한국식품저장유통학회지*, 13: 477-482, 2006.
- 조미란, 조여원, 정성현, 류재환. 인슐린 비의존형(Type II) 당뇨병환자에서 누에분말 섭취가 혈당 및 혈중지질농도에 미치는 영향. *한국영양학회지*, 31: 1139-1150, 1998.
- 조은경, 최영주. 담쟁이덩굴 추출물과 분획물의 항산화, 항당뇨 및 항염증 효과. *생명과학회지*, 23: 399-405, 2013.
- 차재영, 김용순, 강필돈, 안희영, 엄경은, 조영수. 유용곰팡이 균주에 의한 발효 누에분말의 이화학적 특성 및 생리활성. *생명과학회지*, 20: 237-244, 2010.
- 황수영, 배금광, 최수근. 갈색거저리(밀웜)의 조리방법에 따른 기호도 및 구매의도에 관한 연구. *한국조리학회지*, 21: 100-115, 2015.
- 황인국, 우관식, 정현상. 식품의 열처리 가공과 생리활성. *식품과학과 산업*, 44: 56-65, 2011.

中文摘要

利用RSM优化焙烤条件提高冻干蚕品质

李京姬¹, 金愛貞², 金玟珠^{1*}

¹京畿大学代替医疗学科, 首尔, 韩国

²京畿大学代替医疗大学院食品治疗学科, 首尔, 韩国

目的: 采用响应面法 (RSM) 对冻干蚕的烘烤条件进行优化, 以提高冻干蚕的品质。**方法:** 根据初步实验结果, 自变量包括温度 (X1; 范围140 -180°C) 和时间 (X2; 范围 20-40 min)。因变量包括总多酚含量、总黄酮含量、DPPH自由基清除活性、ABTS自由基清除活性和 α -葡萄糖苷酶抑制活性。**结果:** 确定了冻干桑蚕的最佳烘烤条件为: 温度 (X1) 180°C、时间 (X2) 30 min。优化后的总多酚含量为468.20 mg-TAE/g, 总黄酮含量为294.62 mg-QE/g, DPPH自由基清除率为72.07%, ABTS自由基清除率为71.81%, α -葡萄糖苷酶抑制率为67.31%。**结论:** 采用特定的烘烤时间和温度, 可以改善冻干蚕的生化特性。我们预计食品工业将进一步关注烤冻干蚕的使用, 并将其作为提高血糖水平的手段。

关键词: 家蚕, 烘焙, RSM, 抗氧化活性, α -葡萄糖苷酶抑制活性